

## **Análise de planejamento e controle da produção baseada na simulação de um processo produtivo utilizando um modelo híbrido de MRP e *Kanban***

### **Analysis of production planning and control based on the simulation of a production process using a hybrid MRP and *Kanban* model**

---

Juliano Bianchini\* – [jbianchini2001@gmail.com](mailto:jbianchini2001@gmail.com)  
Gilsley Henrique Darú\*\* – [ghdaru@gmail.com](mailto:ghdaru@gmail.com)  
Satie Ledoux Takeda Berger\*\* – [satietakeda@hotmail.com](mailto:satietakeda@hotmail.com)

\*Associação Educacional Leonardo da Vinci – (Asselvi), Indaial, SC  
\*\*Universidade Federal de Santa Catarina – (UFSC), Florianópolis, SC

---

#### **Article History:**

Submitted: 2017 - 03 - 28

Revised: 2017 - 03 - 28

Accepted: 2017 - 03 - 28

---

**Resumo:** Selecionar o conjunto de ferramentas mais apropriadas para o planejamento e controle da produção não é uma tarefa fácil. No entanto, nos últimos anos, aumentou a compreensão de quais ferramentas são mais adequadas para determinados ambientes de produção, e verificou-se que, a adoção de sistemas híbridos para o controle de produção pode proporcionar melhores resultados, uma vez que é possível aproveitar os pontos fortes de cada sistema. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho é analisar, por meio da simulação, como o planejamento das compras de matéria-prima influencia nos níveis de estoque e no atendimento ao cliente em um determinado processo produtivo de uma indústria nacional de equipamentos para automação industrial. Utilizou-se o *software* Arena para modelar a dinâmica do processo de inversores de frequência de uma família de produtos, o qual opera abordando um sistema híbrido, através dos sistemas *Kanban* e MRP. Após a simulação de seis cenários, adotando algumas condições e premissas estabelecidas, os resultados geraram um panorama da influência do planejamento das compras de matéria-prima nos níveis de estoque e no atendimento ao cliente, fornecendo assim, um embasamento para decisões a serem tomadas pela empresa, de acordo com suas estratégias de planejamento e controle da produção.

**Palavras-chave:** Sistema Híbrido; Planejamento e Controle da Produção; *Kanban*; MRP; Simulação

**Abstract:** Selecting the most appropriate set of tools for production planning and control is not an easy task. However, in recent years, the understanding of which tools are most appropriate for particular production environments has increased, and it has been found that the adoption of hybrid systems for production control can provide better results, since it is possible to take advantage of strengths of each system. In this context, the objective of this work is to analyze, through simulation, how the planning of raw material purchases influences inventory levels and customer service in a given production process of a national industrial automation equipment industry. The Arena software was used to model the dynamics of the frequency inverter manufacturing process of a family of products, which operates by addressing a hybrid system through *Kanban* and MRP systems. After the simulation of six scenarios, with given conditions and assumptions, the results

generated a panorama of the influence of the planning of raw material purchases in the levels of inventory and customer service, thus providing a basis for decision making by the company, according to their production planning and control strategies.

**Keywords:** Hybrid System; Production Planning and Control; Kanban; MRP; Simulation

## 1. Introdução

Cada vez mais o mercado vem exigindo que as empresas sejam competitivas. Devido à evolução da demanda dos clientes e ao desenvolvimento de novas tecnologias, as empresas precisam implementar mudanças de engenharia nos sistemas de manufatura, e, o planejamento e controle dessas mudanças é uma tarefa fundamental por causa dos custos e do tempo envolvidos (Cichos e Aurich, 2016). Para organizar essas mudanças de engenharia nos sistemas de manufatura, as estratégias de planejamento e controle de produção (PCP) são fundamentais (Lustosa *et al.*, 2008). As atividades do PCP centralizam-se no planejamento e programação da produção e nas operações da empresa, sendo responsáveis também no controle adequado desse sistema com o objetivo de aumentar a eficiência e a eficácia do processo produtivo contribuindo com a redução do custo da produção (Zäpfel e Missbauer, 1993; Stevenson *et al.*, 2005). Na visão dos clientes, o PCP impacta positivamente nos seguintes fatores: preço de venda, devido à redução dos custos de produção; redução do tempo de entrega dos produtos; cumprimento das datas prometidas; flexibilidade no atendimento das particularidades do cliente; qualidade no produto entregue e disponibilização de bons serviços de pós-vendas (Corrêa *et al.*, 2000).

Neste cenário, planejar, programar e controlar a produção torna-se uma tarefa importante e desafiadora. Para que uma empresa se mantenha competitiva, a compreensão de questões estratégicas, táticas e operacionais sobre as ligações entre mercados, produtos e produção é fundamental (Olhager e Wikner, 2000). Por isso, a concepção do sistema PCP é vista como uma questão estratégica (Stevenson *et al.*, 2005), a qual consiste em entender como a situação presente e a visão de futuro influenciam nas decisões tomadas no momento atual de forma que se atinja os objetivos no futuro (Corrêa *et al.*, 2000).

Algumas técnicas foram desenvolvidas para tratar as funções do PCP, como: sistema de emissão de ordens, OPOQ (*Order Point Order Quantity* – Ponto de Pedido Quantidade Pedida); PBC (*Periodic Batch Control* – Sistema de Coordenação de Ordens); MRP (*Material Requirement Planning* – sistema de planejamento das necessidades de material); sistema *Kanban*, adotado no sistema de produção enxuta (SPE), onde se controla todo o fluxo de

informação da produção da fábrica através do uso de cartões; entre outros (Nazareno, 2008; Utiyama e Godinho Filho, 2013). Uma forma amplamente estudada para melhorar o desempenho de um sistema de produção é a implementação de práticas enxutas no sistema de controle da produção, como por exemplo: nivelamento da produção; sistema puxado, utilizando o sistema *kanban*; controle do *takt time*, entre outros (Sousa e Voss, 2008; Slomp *et al.*, 2009). Porém, em ambientes com alta variedade de produtos e componentes, de itens com baixo volume e baixa frequência de demanda, a transformação enxuta torna-se um processo desafiador (Jina, 1997; Lei, 2004). Duggan (2012) comenta que para as empresas com grande variedade de itens e diferentes características de demanda tornarem-se mais enxutas, necessitam de uma abordagem híbrida de planejamento e controle da produção. O sistema híbrido apresenta um melhor desempenho com relação ao custo de estoque e risco de escassez, se comparado com sistemas puxado e empurrado (Wang e Xu, 1997). Portanto, harmonizar duas técnicas, como o sistema *kanban* (produção puxada) e o sistema MRP (produção empurrada) torna-se relevante para aproveitar o melhor que cada uma tem a oferecer (Corrêa *et al.*, 2000; Nazareno, 2008). A simulação computacional pode auxiliar na avaliação do impacto da combinação dessas técnicas, pois permite a visualização dos resultados de uma mudança sem, contudo, alterar a realidade do sistema de produção (Kouvelis *et al.*, 2005; De Oliveira, 2008).

Neste contexto, surgiu o interesse em apresentar a dinâmica do processo produtivo de uma indústria nacional de equipamentos para automação industrial, que realiza o planejamento da produção de forma híbrida com o uso dos sistemas MRP e *kanban*. O objetivo desse artigo é analisar como o planejamento das compras de matéria-prima influencia nos níveis de estoque e no atendimento ao cliente (nível serviço). Para demonstrar esse cenário, foi utilizado o *software* de simulação computacional Arena, o qual permitiu construir o processo produtivo da empresa que é baseado na manufatura puxada, com o uso do sistema *kanban*, e o processo de compra de matéria-prima, que utiliza a manufatura empurrada com o sistema MRP. Para melhor compreensão da pesquisa, este artigo está estruturado da seguinte maneira: na seção 2 é apresentada a revisão bibliográfica para fundamentar a pesquisa; na seção 3 é apresentada a metodologia da pesquisa; na seção 4 são apresentadas a descrição e análise dos resultados; e, finalmente, na seção 5, são expostas as considerações finais da pesquisa.

## 2. Revisão bibliográfica

Esta seção apresentará a fundamentação teórica do presente estudo que tem por objetivo embasar a pesquisa referente ao tema principal do artigo. Tal fundamentação teórica é resultado de uma revisão de literatura dos seguintes temas de pesquisa: Planejamento e Controle da Produção; Manufatura Empurrada e MRP; Manufatura Puxada e *Kanban*; Abordagem Híbrida de PCP com auxílio da Modelagem e Simulação.

### 2.1. Planejamento e Controle da Produção

Um sistema de Planejamento e Controle da Produção (PCP) é formado por um conjunto de atividades que exigem a definição de um sistema de informações, o desenvolvimento de um sistema de tomada de decisões e a definição de uma estrutura de funções (Scapelli, 2004). O PCP apoia a gestão da produção durante a concepção do programa de produção e processamento de produção, tendo como objetivo o planejamento operacional, temporal e quantitativo, gerenciamento e controle de todas as operações que são necessárias para a produção (Cichos e Aurich, 2016). Os autores ainda comentam que o PCP é dividido em planejamento de programa de produção, planejamento de recursos de produção e controle de produção.

São atribuídas ao PCP diversas funções. Para Lustosa *et al.* (2008) o PCP possui a função administrativa responsável pelo planejamento, controle e orientação das atividades industriais de forma que os produtos sejam manufaturados e as metas da empresa sejam atingidas. Já para Nazareno (2008) o PCP apresenta as seguintes funções: previsão de demanda; planejamento agregado; programação mestre; planejamento de capacidade; planejamento de materiais; emissão de ordens e programação e controle da produção. Logo, o PCP é uma importante área gerencial para as empresas, já que seu planejamento pode impactar crucialmente no desempenho da produção e das operações de negócios e no controle de custos da empresa (Wang e Liu, 2013).

Existem vários métodos de planejamento da produção (Olhager e Wikner, 2000; Stevenson *et al.*, 2005; Olhager, 2013), entretanto, nessa pesquisa serão destacados os métodos puxado e empurrado de produção. Vários estudos propuseram a combinação dessas duas abordagens em um sistema integrado puxado-empurrado (Chen *et al.*, 2002; Lyonnet e Toscano, 2014), já que raramente são usados exclusivamente (Zhao *et al.*, 2005). De acordo com Corrêa *et al.* (2000), várias empresas consideram a utilização híbrida desses dois métodos. Desta forma, o método empurrado é utilizado para o planejamento futuro de médio e

longo prazo, sendo responsável pela gestão (planejamento e controle) de matérias-primas e componentes (materiais semielaborados) e o método puxado é responsável pela gestão detalhada (programação de curto prazo e controle) de fábrica.

## 2.2. *Manufatura empurrada e o MRP*

Na manufatura empurrada, uma quantidade planejada de produção é determinada pelas previsões de demanda e pelos estoques disponíveis; os períodos sucessivos de produção são determinados a partir de informações padronizadas, preparadas em determinadas ocasiões para cada passo e então o produto é produzido sequencialmente desde o primeiro passo (Ohno, 1997). A dinâmica do sistema MRP (MRP, *Material Resource Planning*, ou Planejamento das Necessidades de Material) é baseado na manufatura empurrada, projetado para ambientes complexos de planejamento de produção (Stevenson *et al.*, 2005). Nesse método, as ordens são emitidas de acordo com um programa mestre aprovado, e, a partir da quantidade e data desejadas de um produto final, faz-se a programação retroativa dos materiais e componentes, levando em consideração o *leadtime* definido para cada item (Nazareno, 2008). Ainda, Martins e Campos (2000) complementam que o MRP determina também as necessidades de compra das matérias-primas utilizadas em todo o processo produtivo.

A adoção do MRP possibilita economias de escala em compras, pois fornece visibilidade futura das necessidades de suprimentos e, portanto, melhor contrato de compra, seja por lotes maiores ou programações de compra. Nesse sentido, o MRP pode proporcionar benefícios significativos, como um melhor atendimento ao cliente, uma melhor programação de produção e custos de produção reduzidos (Stevenson *et al.*, 2005). Porém o sistema também apresenta algumas deficiências, como por exemplo: mercadorias entregues em atraso, baixo desempenho, mudança no tamanho dos lotes, aumento do número de *setups*, problemas com estoques, incertezas quanto ao correto *leadtime* do produto, formação de estoques ao longo do processo de produção, entre outros (Plenert, 1999; Koh *et al.* 2001; Koh e Saad, 2003; Fernandes e Godinho Filho, 2010; Louly e Dolgui, 2013). Slack *et al.* (2009) ainda comentam que no sistema MRP, cada centro de trabalho empurra o produto para o próximo centro sem levar em consideração a necessidade de utilização do produto pelo centro subsequente, ocasionando frequentemente ociosidade, estoques intermediários e filas.

### 2.3. *Manufatura puxada e o Kanban*

Na manufatura puxada, o processo final retira as quantidades necessárias do processo precedente num determinado momento, e este procedimento, é repetido na ordem inversa passando por todos os processos anteriores (Ohno, 1997). Ou seja, na manufatura puxada, somente quando a informação chega ao fornecedor inicial são produzidas as peças na quantidade estipulada pela informação e o fluxo dos materiais segue em sentido inverso à informação (Tubino, 2000).

A operacionalização da manufatura puxada ocorre através do sistema *kanban* que limita o estoque de materiais em transformação na linha de produção e controla o reabastecimento dos mesmos através de cartões. Ao contrário do MRP, neste sistema elimina-se a necessidade de se programar todas as operações do processo produtivo, pois os níveis dos estoques são controlados pelos cartões *kanban* (Stevenson *et al.*, 2005; Nazareno, 2008; Sundar *et al.*, 2014). Segundo Fernandes e Godinho Filho (2010), os cartões *kanban* podem ser de transporte, de transferência ou de movimentação, circulando entre dois setores produtivos e sua finalidade é disparar a movimentação de material de uma unidade para outra. Há também os cartões de produção que são como ordens de produção e que tem como utilidade autorizar a produção de determinado item.

A implementação do sistema *kanban* oferece muitas vantagens na gestão de operações e negócios na organização. Com a utilização desse sistema, é possível melhorar a produtividade da empresa; minimizar o desperdício na produção; abastecer o estoque em processo, prevenindo possíveis falhas de abastecimento ou ter em excesso peças para abastecer um processo subsequente e prevenir que ordens de produção sejam geradas no momento errado, com a quantidade errada para o posto errado (Lin *et al.*, 2013; Rahman *et al.*, 2013). Porém, assim como o sistema MRP, o sistema *Kanban* também apresenta algumas limitações, não sendo adequado em situações de demanda instável, instabilidade no tempo de processamento, operações não padronizadas, tempo de *setup* longo, uma grande variedade de itens e incerteza no suprimento de matéria-prima (Junior e Godinho Filho, 2010).

### 2.4. *Abordagem híbrida de PCP com auxílio da modelagem e simulação*

Cada vez mais as empresas percebem que a adoção de somente um sistema de planejamento pode não proporcionar um resultado adequado para o seu portfólio de produtos, e, conseqüentemente, esta visão leva à aceitação de sistemas híbridos personalizados (Olhager e Wikner, 2000; Memari *et al.*, 2014). A combinação de métodos de controle de produção

pode proporcionar melhores resultados para a organização, uma vez que é possível aproveitar os pontos fortes de cada sistema utilizado (Modrák, 2014; Stevenson *et al.*, 2005). Modrák (2014) e Olhager e Wikner (2000) ressaltam a importância de identificar a função de cada sistema dentro da abordagem híbrida, para compreender a contribuição de cada modelo. Para os autores, o sistema MRP pode ser identificado como um componente dentro do PCP juntamente com a tarefa de Programação Mestre da Produção, já que sua função básica é o planejamento das necessidades de materiais para médio e longo prazo. Por outro lado, o *kanban*, é usado para a execução das atividades de produção, visto como um mecanismo de controle da fábrica. A maioria dos sistemas práticos não tem adotado abordagens de PCP mutuamente exclusivos, consistindo então de elementos do sistema empurrado e puxado (Stevenson *et al.*, 2005).

Muitas decisões importantes são tomadas nas atividades de PCP, onde os planejadores da produção decidem quando e com que recursos as organizações produzem seus resultados, e os métodos que são usados para criar esses planos são cruciais para o desempenho organizacional (Zwikael e Sadeh, 2007). A utilização de métodos sem a realização de um planejamento, pode resultar em um excessivo *lead time* ou um prazo muito apertado, acarretando em falhas para tentar cumprir as datas de entregas prometidas. Nesse contexto, diferentes técnicas de planejamento têm sido estudadas, especialmente na pesquisa analítica e baseada em simulação (Kouvelis *et al.* 2005; Tenhiälä, 2011).

A simulação computacional é uma ferramenta utilizada para representar a imitação de um sistema real ou hipotético, para avaliação e melhoria de seu desempenho. Ou seja, a simulação reproduz a realidade em um ambiente controlado o qual possibilita a realização de estudos para analisar o comportamento do sistema, sob diversas condições, sem riscos e/ou grandes custos envolvidos (Harrell *et al.*, 2011; Torga, 2007). Banks (2001) comenta que a simulação é uma das ferramentas mais amplamente utilizada em sistemas de produção quando comparada com qualquer outra área. A sua frequente utilização pode ser justificada pelas seguintes razões: aumento da produtividade e qualidade na indústria, consequentes do resultado direto da automação, analisados pela simulação; diminuição do custo dos computadores, porém com configurações de elevado desempenho; melhorias nos *softwares* de simulação, reduzindo o tempo de desenvolvimento dos modelos; e, a disponibilidade de animação, resultando em maior compreensão e utilização dos gestores da produção.

Existe uma grande complexidade na construção de modelos representativos de sistemas de PCP, porém, *softwares* de simulação como o Arena, possui inúmeros módulos de sistemas de produção capazes de auxiliar na modelação (Treadwell e Herrmann, 2005) e tem sido utilizado por vários pesquisadores em diversas situações (Kamrani *et al.*, 2014). A modelagem através do *software* Arena permite formar conjuntos de estações de trabalho que prestam serviços a entidades que se movem através do sistema. O movimento pode ser feito pela própria entidade, por meios de transporte ou correias (Prado, 2003). Freitas Filho (2008) comenta algumas vantagens de simular sistemas, utilizando *softwares* como o Arena, que podem ser: a facilidade em simular quando comparado à aplicação de métodos analíticos, visto que estes requerem um número muito grande de simplificações para torná-los matematicamente viáveis, já a simulação não apresenta tal restrição; o modelo criado pode ser simulado inúmeras vezes a fim de avaliar diversas propostas; o nível de detalhamento de uma simulação pode ficar muito próximo do real, desta forma, novas políticas e procedimentos operacionais, regras de decisão, fluxos de informação, entre outros, podem ser implementados sem que o sistema real seja modificado; hipóteses podem ser testadas; a possibilidade de compreender melhor quais as variáveis são as mais importantes em relação ao desempenho e como as mesmas interagem entre si e com os outros elementos do sistema. Porém, o autor também aponta algumas dificuldades que podem ser encontradas com o uso da simulação, que são: a necessidade de treinamento para conhecimento e utilização da ferramenta computacional; a dificuldade em interpretar os resultados gerados pela simulação; o consumo de muitos recursos para o desenvolvimento da modelagem e da experimentação, principalmente de tempo; as tentativas de simplificação na modelagem ou nos experimentos, a fim de economizar recursos, costumam levar a resultados insatisfatórios.

### 3. Metodologia

Para o desenvolvimento deste estudo, utilizou-se o método de modelagem e simulação. Este método permite compreender melhor o ambiente em questão, identificar problemas, formular estratégias e oportunidade e apoiar e sistematizar o processo de tomada de decisões (Morabito Neto e Pureza, 2012). Os autores ainda destacam que este método é amplamente utilizado para analisar sistemas complexos, já que permite imitar operações de sistemas reais. Para que um estudo de simulação seja bem-sucedido, é necessário aplicar a metodologia corretamente. Robinson (2014) define cinco etapas para o processo de simulação. Essas etapas foram adaptadas e utilizadas para a construção da modelagem e simulação deste estudo, sendo elas: (i) definição do problema (seção 1); (ii) descrição do

modelo conceitual (subseção 3.1); (iii) codificação do modelo (conversão do modelo conceitual em um modelo computacional, subseções 4.1 e 4.2); (iv) experimentação (encontrar o melhor cenário ou desenvolver uma melhor compreensão do sistema analisado, subseção 4.3) e (v) implementação do modelo de simulação (apresentar uma mudança tangível ou fornecer uma melhor compreensão da situação estudada, subseção 4.4).

### 3.1. Modelo conceitual para o processo produtivo de uma família de inversores de frequência

O trabalho foi desenvolvido utilizando-se como referência o processo produtivo de inversores de frequência de uma determinada família de produtos. Os inversores de frequência são produtos característicos da indústria de equipamentos eletrônicos para automação industrial. Esta família de produtos é planejada utilizando-se como base a previsão de vendas para a compra de matéria-prima e redimensionamento das variáveis da manufatura enxuta. A Figura 1 mostra de forma simplificada, uma visão multinível da lista técnica dos produtos desta família.

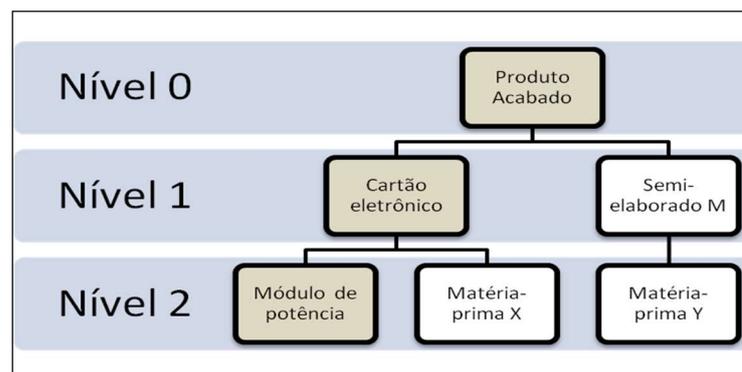


Figura 1 – Visão geral da lista técnica de produto

Conforme apresentado na Figura 1, a produção de inversores é realizada em duas etapas principais. Na primeira (Nível 2), alguns componentes eletrônicos comprados, incluindo um módulo de potência, são montados sobre uma placa de circuito integrado que, depois de feita a montagem, recebe o nome de cartão eletrônico. Na segunda etapa (Nível 1), este cartão eletrônico é montado em uma estrutura e, a esta, é agrupada outros componentes que resultam no produto acabado, que é o inversor de frequência (Nível 0).

O modelo conceitual do processo produtivo referente à família de inversores de frequência é mostrado na Figura 2. Os módulos de potência são importados, e as suas compras são feitas através de previsões, via MRP, e enviadas mensalmente ao fornecedor prevendo o consumo dos próximos quatro meses, devido ao longo tempo de transporte entre o fornecedor e a fábrica. Diariamente as ordens de produção são liberadas com base nas vendas

realizadas. Essas ordens buscam satisfazer duas condições: (i) atender o supermercado de inversores ou (ii) produzir inversores sob encomenda. Estas condições, provocam uma redução dos níveis de estoque nos supermercados a montante, provocando, desta forma, a puxada no próximo nível. Por conseguinte, este provoca uma redução dos níveis de matéria-prima que, a partir da previsão, foram estimados quatro meses antes.

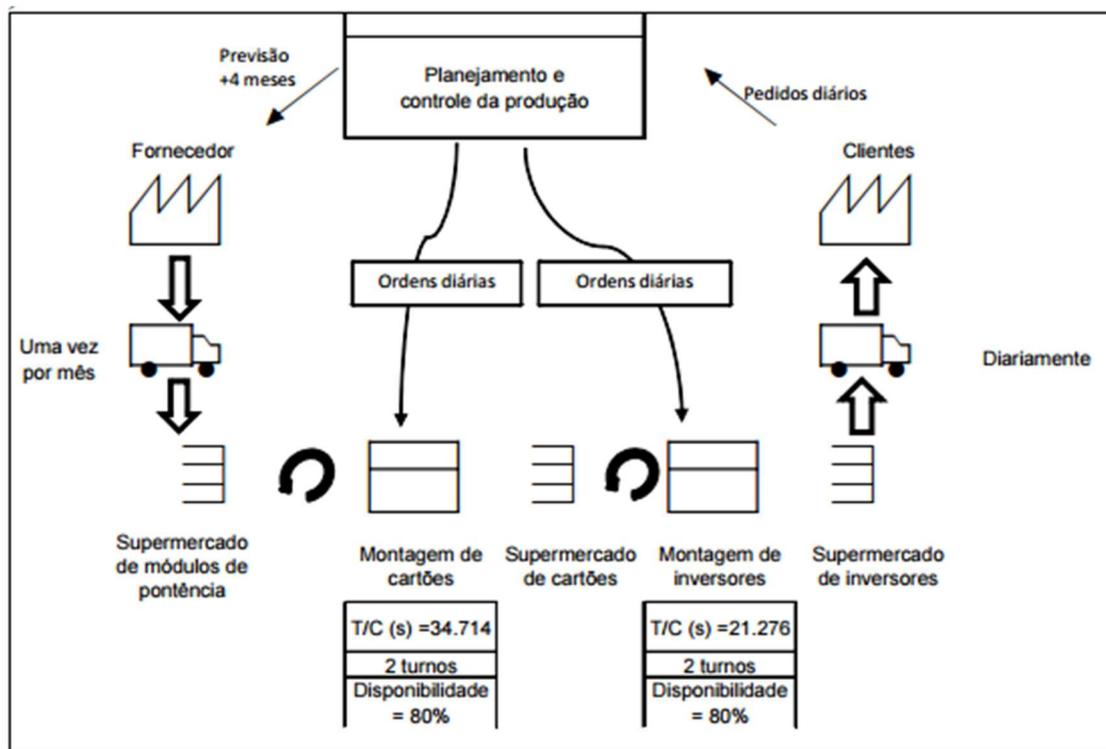


Figura 2 – Modelo Conceitual do processo produtivo de uma família de inversores de frequência

A partir do modelo conceitual e de parâmetros pré-definidos, os quais serão comentados na seção 4, realizou-se a simulação de seis cenários, utilizando o *software* Arena, com o objetivo de identificar o cenário que apresentar, em média, o menor estoque de módulos de potência e o melhor nível de serviço (atendimento) ao cliente.

#### 4. Descrição e análise dos resultados

##### 4.1. Tradução do modelo conceitual para o modelo de simulação no software Arena

Conforme mencionado anteriormente, o *software* Arena permite modelar sistemas através de conjuntos de estações de trabalho que prestam serviços a entidades que se movem através do sistema. Isso, em sua essência, remete a um modelo empurrado, pois para que uma estação de trabalho preste um serviço, é necessário que haja uma entidade requisitando o mesmo. Tão logo este serviço seja prestado, a entidade é remetida para próxima estação de trabalho que executará o serviço que a mesma foi designada e assim sucessivamente. Esta

característica do *software* trouxe um desafio adicional na tradução do modelo conceitual para o modelo de simulação: modelar um processo puxado numa ferramenta que essencialmente modela processos empurrados.

Para melhor validação e entendimento dos resultados, a tradução do modelo conceitual para o modelo de simulação foi dividida em quatro conjuntos lógicos que possuem características e funções distintas: (i) controle de pedidos dos clientes; (ii) controle da produção; (iii) controle do fornecimento de matéria-prima e (iv) controle dos *kanbans*. Na Figura 3 é mostrado o modelo que simula o processo de pedidos dos clientes. Neste modelo, uma entidade chamada “Cliente” gera os pedidos através de uma função de demanda. Para cada pedido é verificado se existe estoque disponível para atendê-lo. Caso haja estoque, um sinal de entrega é liberado para o processo logístico efetuar a entrega e o indicador de pedidos entregues é atualizado. Caso contrário, apenas o indicador de pedidos não entregues é atualizado.



Figura 3 – Processo de pedidos dos clientes

Na Figura 4 é mostrado o modelo que simula o processo de produção de cartões eletrônicos e inversores. O quadro identificado pela letra “A” representa o supermercado de inversores. A entrega dos inversores aos pedidos do cliente (oriundos do processo mostrado na Figura 3) gera um sinal para o processo de expedição (entrega) de inversores e, também, para o processo de controle de *kanbans* (mostrado na Figura 5) para repor o supermercado. Este último aciona a produção de inversores se o nível de estoque mínimo (definido no *kanban*) é atingido. A montagem de inversores é executada pelo processo mostrado no quadro “B”. Neste quadro é simulado o tempo total de produção do inversor. Depois de passado o tempo de produção, o inversor é enviado ao supermercado de inversores. O quadro “C” simula o supermercado de cartões eletrônicos utilizados na produção de inversores. Ao produzir um inversor (quadro “B”), é consumido um cartão eletrônico do supermercado e um sinal de controle é enviado para o processo de controle de *kanbans* (ver Figura 5). Este, por

sua vez, verifica se é necessário disparar a produção de cartões eletrônicos (quadro “D”). No quadro “D” é simulado o tempo total de produção do cartão eletrônico. Uma vez produzido, o cartão é enviado para o supermercado de cartões eletrônicos (quadro “C”). Toda produção de cartão eletrônico retira um módulo de potência do almoxarifado (quadro “E”). Este módulo de potência é comprado e o processo de reabastecimento do mesmo, no almoxarifado, é simulado pelo processo mostrado na Figura 6.

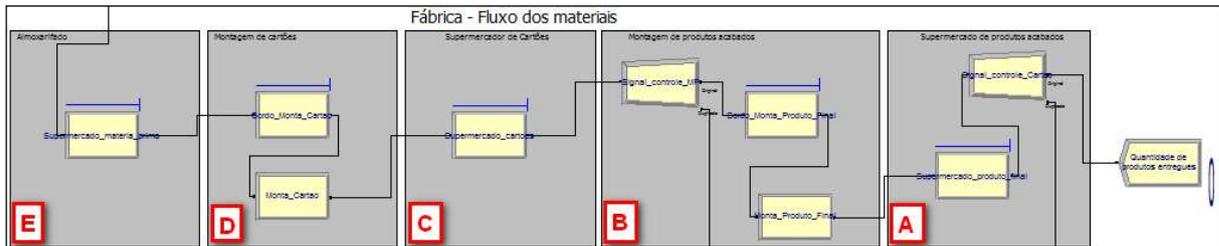


Figura 4 – Processo da produção

A Figura 5 representa o processo de controle dos níveis de estoque dos supermercados do processo produtivo, o qual é controlado por *kanban*. Este processo auxiliar recebe um sinal dos supermercados toda vez que há uma retirada. Com isso, é avaliado o nível de estoque dos mesmos com as definições do *kanban* elaboradas para cada um dos supermercados e, se for necessário, dispara um sinal de reabastecimento (ordem de produção) para o fornecedor do respectivo supermercado.

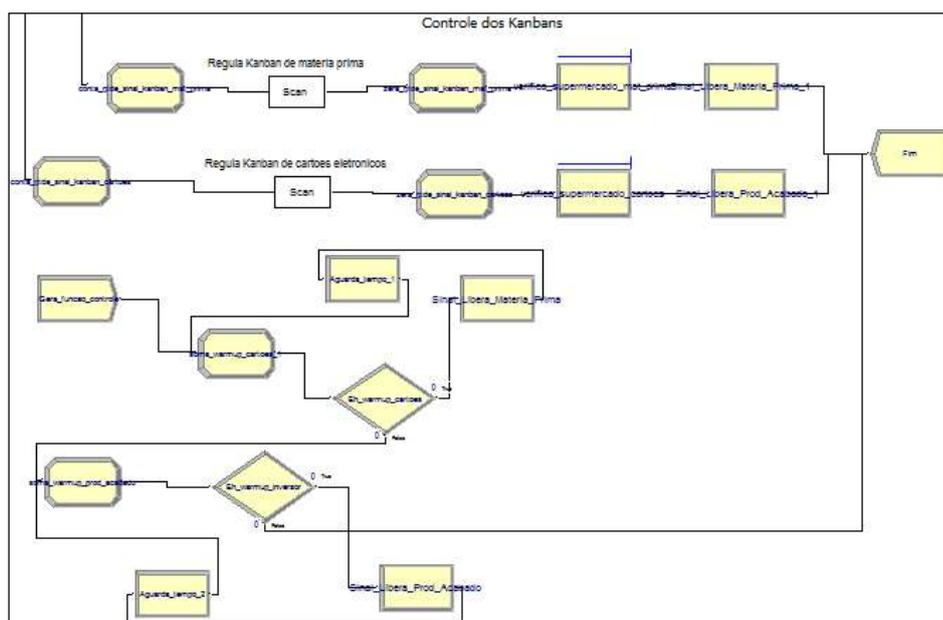


Figura 5 – Processo de controle dos *Kanbans* do processo produtivo

Na Figura 6 é mostrada a entidade que simula o fornecimento de módulos de potência e o abastecimento do almoxarifado da fábrica. Esta entidade gera, através de uma função

estatística, as quantidades a serem fornecidas para a fábrica. Os detalhes desta função que gera o abastecimento de módulos de potência e das demais funções estatísticas do processo de simulação serão explicados na próxima subseção.

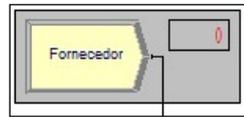


Figura 6 – Processo de fornecimento de módulos de potência

A Figura 7 representa, em forma de diagrama de blocos, uma visão geral da integração entre os quatro conjuntos em que o modelo de simulação foi logicamente construído. É importante ressaltar que os tempos de transporte, entre todos os processos, não foram considerados por não serem significativos para os objetivos da simulação.

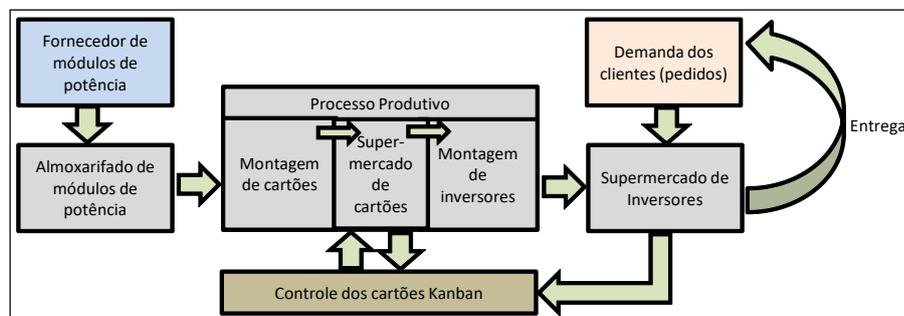


Figura 7 – Visão integrada dos quatro conjuntos do modelo de simulação

Durante o processo de simulação dois indicadores são acompanhados: (i) nível de serviço e (ii) estoque do módulo de potência. Com estes indicadores é possível acompanhar, em tempo de simulação, o atendimento ao cliente em relação ao nível de estoque do módulo de potência.

#### 4.2. Redução de escala para os dados aplicados no modelo de simulação

A versão gratuita utilizada do *software* Arena para o desenvolvimento desse trabalho, possui algumas limitações. Como por exemplo, a quantidade de entidades ativas ao mesmo tempo durante o processo de simulação. Com isso, foi necessário aplicar uma escala de redução dos dados no momento de traduzir o modelo conceitual para o modelo de simulação. Como regra geral, foi adotado que cada unidade simulada representa 40 unidades no modelo conceitual (1:40). Desta forma, temos as seguintes funções que foram reduzidas no modelo de simulação:

- ✓ Função demanda de inversores ou F(D): foi definida uma distribuição triangular para simular o tempo de chegada entre os pedidos de cliente e uma distribuição normal para

simular a quantidade requerida em cada pedido. Para o tempo de chegada, a distribuição triangular foi definida com o valor mínimo igual a zero, valor máximo igual a dois e moda igual a um. Para a quantidade requerida por pedido, a distribuição normal foi definida com média igual a 0,8 e desvio padrão igual a 0,35. Estes valores foram baseados numa disponibilidade de 630 unidades por mês, com desvio padrão de 210 unidades por mês e 20 dias úteis no mês;

- ✓ Tempo de produção de inversores ou  $F(T_i)$ : foi definida uma distribuição normal, com valor médio igual a 1,6 e desvio padrão de 0,24. Estes valores foram baseados numa capacidade mensal de 780 unidades por mês, 20 dias úteis por mês e 80% de utilização da estação de trabalho em dois turnos de trabalho;
- ✓ Tempo de produção dos cartões eletrônicos ou  $F(T_c)$ : foi definida uma distribuição normal, com valor médio igual a 0,8 e desvio padrão de 0,12. Os valores estão baseados numa capacidade mensal de 630 unidades por mês, 20 dias úteis por mês e 80% de utilização da estação de trabalho em dois turnos de trabalho; e
- ✓ Função para previsão de reabastecimento dos módulos de potência ou  $F(M)$ : as distribuições utilizadas serão descritas na próxima subseção, onde será apresentada a descrição dos cenários simulados.

#### 4.3. Definição dos parâmetros e execução da simulação

Antes de executar os cenários, o *software* Arena foi configurado com alguns parâmetros importantes, conforme descritos a seguir e apresentados na Figura 8:

- a) Número de replicações (*Number of Replications*): indica o número de vezes que a simulação se repetirá. A cada repetição as estatísticas voltam à zero;
- b) Tamanho da réplica (*Replication Length*): é o montante de tempo de simulação usado para avaliar o processo que foi modelado;
- c) Período de aquecimento (*Warm-up Period*): indica o período de tempo de aquecimento. A unidade de tempo também deve ser informada para este parâmetro. Durante este período o processo de simulação corre normalmente, entretanto, as estatísticas não são geradas. Este parâmetro influencia nos níveis de estoque dos supermercados. Ao iniciar a simulação, todos os supermercados estão vazios. Isso significa que durante este período inicial (de aquecimento) solicitações de retirada dos supermercados não podem ser atendidas por falta de estoque, prejudicando o indicador de atendimento ao cliente; e

- d) Horas por dia (*Hours Per Day*): define o número de horas utilizadas para um dia de simulação.

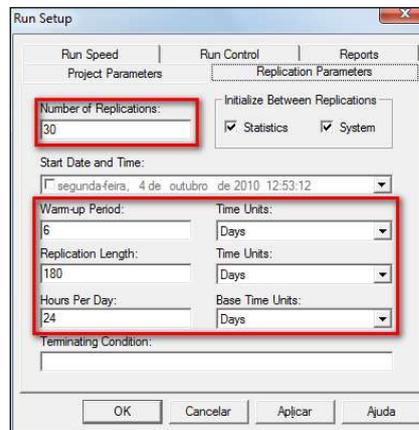


Figura 8 – Parâmetros de simulação do software Arena

Em resumo, o período da simulação corresponde a um período de 186 dias, sendo que cada dia corresponde a 24 horas. O período correspondente entre o primeiro e o sexto dia é o intervalo de dias de aquecimento, isto é, este é o período onde os supermercados são abastecidos até seu limite máximo. A simulação se repete 30 vezes (devido ao parâmetro “Número de replicação”) e a coleta de dados estatísticos é feita em cada uma das repetições.

Algumas premissas também foram definidas antes de executar a simulação, sendo elas: é feito um fornecimento de módulos de potência a cada trinta dias; em cada fornecimento é entregue a quantidade exata de um lote de módulos de potência; o tamanho de cada lote é de 480 unidades, aplicando a escala de redução (1:40), o tamanho do lote é de 12 unidades no modelo de simulação; existem dois cartões *kanban* para controlar o reabastecimento da montagem de cartões eletrônicos e dois cartões *kanban* para controlar o reabastecimento da montagem de inversores; os parâmetros da função que gera as demandas de clientes e os tempos dos processos de montagem dos cartões e dos inversores são os mesmos para todos os cenários.

A partir destas premissas foram estabelecidos seis cenários a serem simulados, possuindo como objetivo a identificação do cenário que apresenta em média, o menor estoque de módulos de potência e o melhor nível de serviço (atendimento) ao cliente. No primeiro cenário é simulado a entrega de 100% do tamanho de lote definido para o fornecimento de módulos de potência. No segundo cenário, é simulado a entrega de 110% do lote. Já no terceiro, quarto, quinto e sexto cenário é simulado a entrega de, respectivamente, 90%, 70%,

50% e 40% do lote. A função de geração de demanda e o tempo de processamento de cada estação de trabalho são os mesmos para os seis cenários e estão descritos na subseção 4.2. A Tabela 1 compila um resumo dos seis cenários submetidos à simulação.

Tabela 1 – Cenários simulados

<b>Identificação do cenário</b>	<b>Descrição</b>	<b>Função para reabastecimento de módulos de potência F(M)</b>
1	100% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 1
2	110% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 1,1
3	90% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 0,9
4	70% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 0,7
5	50% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 0,5
6	40% do tamanho do lote necessário	Tamanho do lote * 0,4

Conforme mencionado anteriormente, cada execução do cenário simula a duração de 186 dias, 24 horas por dia. Os seis primeiros dias são utilizados para abastecer os supermercados até seus níveis máximos. Nestes seis dias não há demanda do cliente. Essa simulação é feita 30 vezes por cenário. Os dados estatísticos são coletados para cada execução e, ao final, é gerado um valor médio.

#### 4.4. Análise dos resultados

A partir dos resultados obtidos através da simulação dos cenários, os dados foram tabelados de forma a expressar o atendimento ao cliente e o estoque médio de módulos de potência. A Tabela 2 resume os resultados de cada cenário, onde se assumiu um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 2 – Resultados da simulação dos cenários

<b>Identificação do cenário</b>	<b>Descrição</b>	<b>F(M) (un)</b>	<b>Atendimento ao cliente (%)</b>	<b>Estoque médio de módulos de potência (un)</b>
1	100% do lote	12	98,67%±0,48%	27±1
2	110% do lote	13,2	98,67%±0,48%	33±1
3	90% do lote	10,8	98,57%±0,54%	15±1
4	70% do lote	8,4	95,95%±1,32%	4±1
5	50% do lote	6	79,38%±2,42%	0±0
6	40% do lote	4,8	56,58%±2,19%	0±0

Pode-se verificar que os cenários 1 e 2 tiveram, na média, o mesmo percentual de atendimento ao cliente, isto é, 98,67% das ordens foram atendidas. Porém, o cenário 2 teve um estoque médio de módulos de potência maior, a um nível de 95% de confiança, que o cenário 1. O cenário 3 não obteve diferença significativa em relação aos cenários 1 e 2, porém um estoque médio significativamente menor dos cenários 1 e 2. O cenário 4 teve uma queda

significativa no estoque médio de módulos de potência e uma redução significativa (a 95% de confiança) no atendimento ao cliente em relação aos cenários 1, 2 e 3. O nível de atendimento nos cenários 5 e 6 diminuiu significativamente e houve falta de estoque de módulos de potência em ambos os cenários.

A partir da análise dos resultados apresentados, podemos obter algumas conclusões. A integração entre o planejamento de compras, gestão de estoque e nível de serviço é uma questão importante para os pesquisadores e também para os profissionais envolvidos no planejamento e controle da produção. As estratégias de estoque assumem uma grande importância nas decisões de manufatura, uma vez que estão presentes em várias fases do sistema físico coordenando funções como compras, manufatura e distribuição, de modo a satisfazer as necessidades do mercado. Dentro desse contexto de integração, a função de compras passou a ser enxergada não somente em nível operacional, onde a maior parte dos esforços são gastos para a colocação de pedidos e resolução de problemas emergentes, mas em nível estratégico, onde os esforços passam a ser direcionados para o planejamento das atividades principalmente em médio e longo prazo.

Logo, quando comparados os cenários 1, 2 e 3, o cenário 3 pode se tornar a melhor escolha, pois fornece um alto de nível de atendimento ao cliente, de 98,57%, e mantém um menor estoque médio de módulos de potência, o que pode diminuir os custos relacionados com altos estoques. O cenário 4 pode ser atraente se o nível de 95% de atendimento ao cliente for satisfatório e o baixo nível de estoque médio de módulos de potência for um requisito forte. Já os cenários 5 e 6 não são aplicáveis, pois conforme os resultados, o atendimento ao cliente ficou comprometido devido à falta de estoque de módulos de potência. Dentro dessa perspectiva, enfatiza-se que o planejamento e controle da produção é um sistema complexo e cada empresa possui suas peculiaridades, não sendo passível de uma solução simples e uniforme. Por isso, é importante destacar que estes dados apenas refletem uma parte tangível da empresa. Outros fatores intangíveis, estratégicos e de redução de riscos devem ser levados em consideração para uma tomada de decisão apropriada.

## 5. Considerações Finais

Nesse estudo foi analisado como o planejamento das compras de matéria-prima influencia nos níveis de estoque e no atendimento ao cliente (nível serviço), tomando como base o processo produtivo de inversores de frequência de uma determinada família de produtos de uma indústria nacional de equipamentos para automação industrial. Seis cenários

diferentes foram testados e comparados, respeitando algumas condições e premissas estabelecidas. Para realizar tal estudo, primeiramente foi apresentado alguns conceitos e técnicas dos sistemas MRP e *kanban*, que foram adotados de forma híbrida, a fim de se obter melhores resultados para a empresa, já que a sua combinação busca aproveitar os pontos fortes tanto do sistema empurrado quanto do sistema puxado. A contribuição prática desse estudo, pode ser observada nos resultados obtidos pela simulação, onde o panorama gerado atende satisfatoriamente a demanda prevista dos clientes e fornece embasamento para decisões a serem tomadas no que diz respeito ao planejamento e controle da produção da família de produtos escolhida. Portanto, pode-se constatar que, o cenário 3 em média, apresentou um bom equilíbrio entre o nível de atendimento ao cliente, com 98,57%, e manteve um menor estoque médio de módulos de potência, quando comparado com os demais cenários, sendo uma possível opção de estratégia para a empresa.

Apesar da literatura apresentar uma significativa quantidade de estudos relacionados ao tema abordado, essa pesquisa teve o intuito de corroborar com o meio acadêmico, à medida que se explorou a integração do planejamento de compras, gestão de estoque e nível de serviço dentro do contexto do PCP. A capacidade de criar e adaptar modelos de simulação torna possível a avaliação de mais conceitos em um curto espaço de tempo. A adoção de sistemas híbridos de produção são muito utilizadas quando deseja-se selecionar os elementos para compor o projeto completo do sistema de produção. Uma compreensão aprofundada acerca das ferramentas de planejamento e controle e sua aplicabilidade foi explorada para que o sistema de PCP suportasse adequadamente os objetivos gerais da empresa, visto que se torna cada vez mais importante vincular o PCP ao nível estratégico de tomada de decisão. Logo, prioridades competitivas, como qualidade, velocidade de entrega e confiabilidade, preço e flexibilidade, exige um adequado planejamento e controle do sistema. Além disso, os sistemas de produção híbridos têm menores variações na ordem de fabricação do que um sistema tradicional.

Contudo, esse estudo limitou-se a analisar como o planejamento das compras de matéria-prima influencia nos níveis de estoque e de serviço ao cliente, e, portanto, demais fatores estratégicos devem ser levados em consideração para compor a tomada de decisão da empresa. Por isso, como trabalho futuro, sugere-se a partir do atual modelo de simulação elaborado, desenvolver um novo cenário com a projeção de crescimento na demanda dos clientes, e a partir desta simulação, verificar o efeito deste crescimento na linha de produção a fim de identificar quais serão os gargalos no processo produtivo. Com isso, decisões tais

como onde, quanto e quando investir em maquinário ou, então, quando e quantas pessoas contratar, podem ser tomadas com base nos resultados dessa simulação.

## REFERÊNCIAS

- Banks, J. (2001). Panel session: the future of simulation. Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference, December 9-12, Arlington, VA.
- Basso, R. G., Laurindo, F. J. B., & Spinola, M. D. M. (2013). Equilibrando serviço e inventário: um sistema híbrido push/pull de planejamento de produção no mercado de bens de consumo no Brasil. Anais do XXXIII Encontro Nacional de Engenharia de Produção-ENEGEP. Salvador, Brasil.
- Cichos, D., & Aurich, J. C. (2016). Support of Engineering Changes in Manufacturing Systems by Production Planning and Control Methods. *Procedia CIRP*, 41, 165-170.
- Chen, C. Y., Zhao, Z., & Ball, M. O. (2002). A Model For Batch Advanced Available-To-Promise. *Production and Operations Management*, 11(4), 424-440.
- Duggan, K. J. (2012). *Creating mixed model value streams: practical lean techniques for building to demand*. CRC Press. New York: Productivity.
- Fernandes, F. C. F., & Godinho Filho, M. (2010). Planejamento e controle da produção: dos fundamentos ao essencial. São Paulo: Atlas.
- Freitas Filho, P. J. de. (2008) Introdução à modelagem e simulação de sistemas com aplicações Arena. Florianópolis: Visual Books, 2ªEd.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R. O. (2011). *Simulation using promodel*. Boston : McGraw-Hil.
- Jina, J., Bhattacharya, A. K., & Walton, A. D. (1997). Applying lean principles for high product variety and low volumes: some issues and propositions. *Logistics Information Management*, 10(1), 5-13.
- Junior, M. L., & Godinho Filho, M. (2010). Variations of the kanban system: Literature review and classification. *International Journal of Production Economics*, 125(1), 13-21.
- Kamrani, M., Abadi, S. M. H. E., & Golroudbary, S. R. (2014). Traffic simulation of two adjacent unsignalized T-junctions during rush hours using Arena software. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 49, 167-179.
- Koh, S. C., Jones, M. H., Saad, S. M., Arunachalam, S., & Gunasekaran, A. (2000). Measuring uncertainties in MRP environments. *Logistics Information Management*, 13(3), 177-183.
- Koh, S. C. L., & Saad, S. M. (2003). MRP-controlled manufacturing environment disturbed by uncertainty. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 19(1), 157-171.
- Kouvelis, P., Chambers, C., & Yu, D. Z. (2005). Manufacturing operations manuscripts published in the first 52 issues of POM: Review, trends, and opportunities. *Production and Operations Management*, 14(4), 450-467.
- Lean Enterprise Institute (2004). *The backbone of lean in the back shops*. Disponível em: <<http://www.lean.org>>. Acesso em: 03 Nov. 2016.
- Lin, C. J., Chen, F. F., & Chen, Y. M. (2013). Knowledge kanban system for virtual research and development. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 29(3), 119-134.
- Louly, M. A., & Dolgui, A. (2013). Optimal MRP parameters for a single item inventory with random replenishment lead time, POQ policy and service level constraint. *International Journal of Production Economics*, 143(1), 35-40.
- Lustosa, L. J., de Mesquita, M. A., & Oliveira, R. J. (2008). *Planejamento e controle da produção*. Rio de Janeiro: Elsevier.
- Lyonnet, B., & Toscano, R. (2014). Towards an adapted lean system—a push-pull manufacturing strategy. *Production Planning & Control*, 25(4), 346-354.
- Martins, P. G., & Campos, P. R. Administração de Materiais e Recursos Patrimoniais. São Paulo: Atlas, 2009.

- Memari, A., Rahim, A. R. B. A., & Ahmad, R. B. (2014). Production planning and inventory control in automotive supply chain networks. In *International Conference on Industrial, Engineering and Other Applications of Applied Intelligent Systems* (pp. 430-439). Springer International Publishing.
- Modrák, V. (2014). Handbook of research on design and management of lean production systems. Pennsylvania: IGI Global.
- Morabito Neto, R., & Pureza, V. (2012). *Modelagem e Simulação*. In: MIGUEL, P. A. C. (Org.). Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações (pp. 169-198). Rio de Janeiro: Elsevier, 2ª Ed.
- Nazareno, R. R. (2008). *Desenvolvimento de sistemas híbridos de planejamento e programação da produção com foco na implantação de manufatura enxuta*. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção), Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, Brasil.
- Oliveira, C. S. de (2008). Aplicação de técnicas de simulação em projetos de manufatura enxuta. *Estudos Tecnológicos em Engenharia*, 4(3), 204-217.
- Ohno, T. (1997). O Sistema Toyota de Produção Além da Produção. Porto Alegre: Bookman.
- Olhager, J., & Wikner, J. (2000). Production planning and control tools. *Production Planning & Control*, 11(3), 210-222.
- Olhager, J. (2013). Evolution of operations planning and control: from production to supply chains. *International Journal of Production Research*, 51(23-24), 6836-6843.
- Prado, D. S. do (2003). Usando o Arena em simulação. Belo Horizonte: INDG Tecnologia e Serviços Ltda, 3ª Ed.
- Plenert, G. (1999). Focusing material requirements planning (MRP) towards performance. *European Journal of Operational Research*, 119(1), 91-99.
- Rahman, N. A. A., Sharif, S. M., & Esa, M. M. (2013). Lean manufacturing case study with Kanban system implementation. *Procedia Economics and Finance*, 7, 174-180.
- Robinson, S. (2014). Simulation: the practice of model development and use. Palgrave Macmillan.
- Scarpelli, M. S. (2006). *Sistemas de produção agroalimentar: arquitetura para as funções de planejamento e controle da produção*. Tese de Doutorado (Doutorado em Engenharia de Produção), Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil.
- Slack, N., Johnston, R., & Chambers, S. (2009) *Administração da Produção*. São Paulo: Atlas, 3ª Ed.
- Slomp, J., Bokhorst, J. A., & Gerns, R. (2009). A lean production control system for high-variety/low-volume environments: a case study implementation. *Production Planning and Control*, 20(7), 586-595.
- Sousa, R., & Voss, C. A. (2008). Contingency research in operations management practices. *Journal of Operations Management*, 26(6), 697-713.
- Stevenson, M., Hendry, L. C., & Kingsman, B. G. (2005). A review of production planning and control: the applicability of key concepts to the make-to-order industry. *International journal of production research*, 43(5), 869-898.
- Sundar, R., Balaji, A. N., & Kumar, R. S. (2014). A review on lean manufacturing implementation techniques. *Procedia Engineering*, 97, 1875-1885.
- Tenhiälä, A. (2011). Contingency theory of capacity planning: The link between process types and planning methods. *Journal of Operations Management*, 29(1), 65-77.
- Torga, B. L. M. (2007). *Modelagem, simulação e otimização em sistemas puxados de manufatura*. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, Brasil.
- Treadwell, M. A., & Herrmann, J. W. (2005). A kanban module for simulating pull production in Arena, Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. December 04-07, Orlando, FL.
- Tubino, D. F. (2000). *Manual de planejamento e controle da produção*. São Paulo: Atlas.
- Utiyama, M. H. R., & Godinho Filho, M. (2013). A literatura a respeito da comparação entre a teoria das restrições e a manufatura enxuta: revisão, classificação e análise. *Gestão e Produção*, 20(3), 615-638.

- Van Dierdonck, R., & Miller, J. G. (1980). Designing production planning and control systems. *Journal of Operations Management*, 1(1), 37-46.
- Wang, D., & Xu, C. G. (1997). Hybrid push pull production control strategy simulation and its applications. *Production Planning & Control*, 8(2), 142-151.
- Wang, C., & Liu, X. B. (2013). Integrated production planning and control: A multi-objective optimization model. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 6(4), 815.
- Zäpfel, G., & Missbauer, H. (1993). New concepts for production planning and control. *European Journal of Operational Research*, 67(3), 297-320.
- Zwikael, O., & Sadeh, A. (2007). Planning effort as an effective risk management tool. *Journal of Operations Management*, 25(4), 755-767.



This journal is licenced under a [Creative Commons License. Creative Commons - Atribuição-CompartilhaIgual 4.0 Internacional.](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)